

大阪市立大学大学院 学生員 ○山本 竜哉
 大阪市立大学工学部 フェロー 園田恵一郎
 大阪市立大学工学部 正会員 小林 治俊

1. まえがき

1995 年 1 月 17 日の大地震によって、多くの土木・建築構造物が未曾有の被害を受けた。被害を受けた土木構造物の中に鉛直衝撃破壊の影響ではないかと思われる現象がいくつか観察されている。軸引張による R C 橋脚の輪切りひび割れもその例である。そこで本研究では三層地盤上に架設された R C 高架橋橋脚モデルに対して地震時上下変位動モデルに対する数値解析を行い、橋脚柱部の破壊状態について検討した。解析手法としては、8 節点要素を用いたアイソパラメトリック有限要素法であり、一点積分手法を使用している。時間積分法には、陽的差分法を用いている。また、R C 橋脚柱部にはコンクリート要素の非線形性を表現する手法として損傷パラメータを導入し応力ひずみマトリックスを変化させる全ひずみ塑性理論を用いている。

2. 解析方法

数値解析方法には 8 節点要素を用いたアイソパラメトリック有限要素法を用いた。橋脚柱部コンクリートの圧壊判定は Drucker-Prager の条件 [1] に基づいて行っている。鉄筋の応力-ひずみ関係には完全弾塑性モデルを用いた。鉄筋はコンクリート要素内に埋め込まれていると考え、 z 軸方向応力のみを受けるものとする。なおコンクリートが圧壊に至ると鉄筋も耐力を失うものとした。節点力ベクトル Ψ は ひずみ変位変換マトリックス B とコンクリート応力 τ_c および鉄筋応力 τ_s より与えられる。本解析においては、一点積分要素を用いることにより、以下の簡易な式で表される。

$$\Psi = B^T (\tau_c l_x l_y l_z + \tau_s A_s l_z) \quad (1)$$

ここに A_s は z 軸方向の鉄筋の断面積である。要素質量は、要素を構成する 8 節点に集中化させる。任意時刻 t における全節点自由度における運動方程式は以下ようになる。 n は全節点数を、 $3n$ は全自由度数を示す。 M は質量集中マトリックス、 $\ddot{u}$ は全節点自由度における加速度を示す。

$$M\ddot{u} + \sum_{i=1}^{3n} \Psi_i = F \quad (2)$$

本解析では時間積分法に中央差分法を用いた。 Δt は時間刻みを示す。

$$u_{t+\Delta t} = 2u_t - u_{t-\Delta t} + \Delta t^2 \ddot{u}_t \quad (3)$$

このようにして求められた変位から節点にかかる力を求め、上式の計算を繰り返す。

3. 解析モデル

本解析で用いる 3 次元有限要素モデルは、対称条件を考慮した 1/4 モデルである。図 1 に解析モデルを示す。解析モデルでは橋脚柱部にのみ非線形性を考慮しており、それ以外はすべて弾性体として取り扱っている。図 1 の右図は左図の解析モデルの橋脚柱部を取り出したものである。橋脚柱部は z 方向に 10 分割されていて、橋脚下部断面を $z = 1$ 、橋脚上部断面を $z = 10$ とする。図 2 に入力動モデルを示す。解析では入力動モデルを積分した変位動モデルを地盤モデル底面全体に与えるものとする。図 3 は入力周期と橋脚中央部最大鉛直応力の関係を示したものである。この図より周期が 0.1 msec のときに最大応力が発生することが分かる。図 4 は橋脚柱部の破壊状態を表示するために用いた表示法を示したものである。図 5 および図 6 に $T_0 = 100 \text{ msec}$ 、 $v_0 = 15 \text{ kine}$ における橋脚頂部および橋脚柱部の自重を考慮しないときとそれらの自重を考慮したときの状態図を示す。

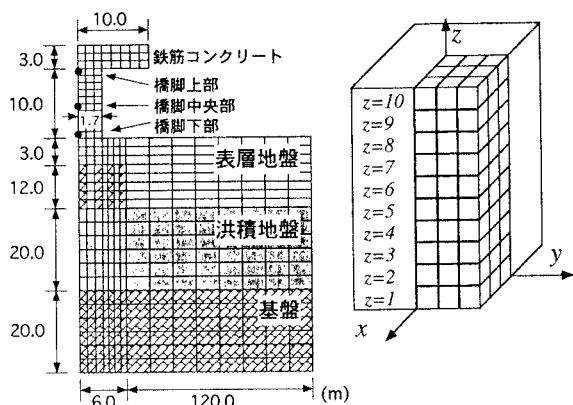


図 1：解析モデル

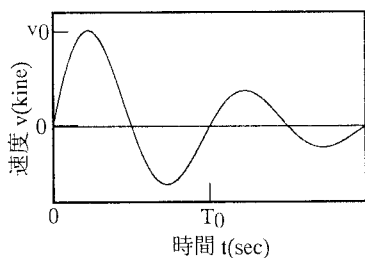


図 2：入力動モデル

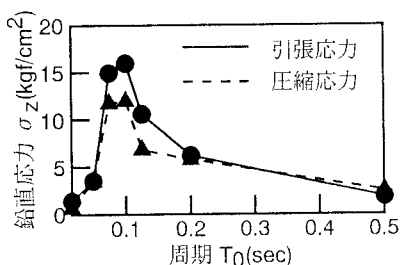


図 3: 入力周期と橋脚中央部最大鉛直応力の関係

コンクリート

----- $\epsilon_t < \epsilon_z < 10\epsilon_t$ ○○○○○○○○○ $\epsilon_c < \epsilon_z < \epsilon_{cu}$
(引張ひび割れ)

..... $\epsilon_t < 10\epsilon_z$ ●●●●●●●● $\epsilon_{cu} < \epsilon_c$
(引張破壊)



圧壊

鉄筋

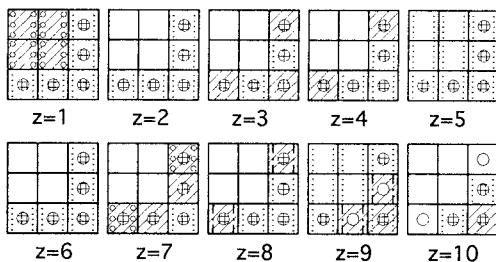
⊕ 引張降伏

⊗ 引張降伏からの除荷状態

⊖ 圧縮降伏

⊙ 圧縮降伏からの除荷状態

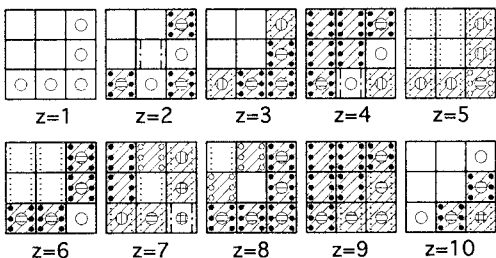
図 4：状態図表示法



179.58331msec

$T_0 = 100\text{msec}$, $v_0 = 15\text{kine}$

図 5：状態図 (自重無視)



179.58331msec

$T_0 = 100\text{msec}$, $v_0 = 15\text{kine}$

図 6：状態図 (自重考慮)

4. まとめ

1. 入力動周期とRC高架橋の周期が一致すればRC高架橋橋脚柱部断面に大きな軸引張および圧縮応力が発生することが分かった。
2. 橋脚柱部の破壊は最初に鉛直方向に引張られてコンクリートのひび割れと鉄筋の降伏を起こした後にコンクリートの圧壊に至ることが分かった。
3. 圧壊については自重による影響が大きいことが分かった。

参考文献

- [1] 材料特性の数値モデル入門～構造則主要用語解説集～，土木学会，5 弾塑性体，pp.45，1988.